

Механізми інтенсифікації процесу сорбції іонів важких металів модифікованим магнітокерованим біосорбентом для очищення стічних вод

Механизмы интенсификации процесса сорбции ионов тяжелых металлов модифицированным магнитоуправляемым биосорбентом для очистки сточных вод

Mechanisms of intensification of sorption process of heavy metal ions by the magnetically controlled biosorbents for the purification of the waste water

1. Номер державної реєстрації теми - 0112U000957, НТУУ «КПІ» - 2515-ф.
2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Горобець С.В., Горобец С.В., Gorobets S.V.
3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Виявлено нові механізми інтенсифікації процесу сорбції іонів важких металів модифікованим магнітокерованим біосорбентом на основі дріжджів *S. cerevisiae* для очищення стічних вод. Вперше розроблено установку на основі магнітогідродинамічного перемішування (МГДП) біосорбенту з магнітною рідиною в схрещених електричному і магнітному полях, що дозволило отримати магнітокерований біосорбент зі стабільними магнітними властивостями та сорбційною ємністю не меншою ніж у нативних дріжджів. Визначено залежність сорбційної ємності магнітокерованого біосорбенту від способу його модифікації, величини зовнішнього магнітного та електричного полів, рН-середовища, співвідношення кількості магнітної рідини (магнітних наночастинок) та біосорбенту, заряду біосорбенту, просторового розподілу магнітних наночастинок в сорбенті, морфологічних характеристик поверхні дріжджових клітин *S. cerevisiae*. Вперше встановлено кореляцію між електрофоретичною рухливістю дріжджів, величиною дзета-потенціалу, фрактальною розмірністю та сорбційними характеристиками біосорбенту. Сорбційна ємність магнітокерованого біосорбенту, виготовленого за розробленою методикою, не зменшується порівняно з нативними дріжджами за рахунок того, що наночастинок магнетиту проникають в периплазматичну область клітинної стінки дріжджів, що підтверджується вимірюваннями магнітної сприйнятливості магнітокерованого біосорбенту та даними магнітної силової мікроскопії комплексів «дріжджова клітина-магнітні наночастинок», величиною дзета-потенціалу та електрофоретичної рухливості магнітокерованого біосорбенту. Вперше для підвищення ефективності проникнення магнітних наночастинок в периплазматичну область розроблено новий метод виготовлення магнітної рідини з контрольованими розмірами та формою магнітних наночастинок. Також проведено пошук мікроорганізмів в тому числі дріжджів *S. cerevisiae* – потенційних продуцентів біогенних магнітних наночастинок методами біоінформатики та досліджено вплив білків, задіяних в синтезі магнітних наночастинок, на властивості синтезованих за їх участі магніточутливих структур в клітинах. Вивчені сучасні розробки з використання цих білків *in vitro* та розглянуто перспективи використання цих мікроорганізмів для біосорбції іонів важких металів та в біометалургії. Вперше при очистці стічних вод м. Славутич (Київська обл.) від іонів заліза з використанням магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *S. cerevisiae* вдалося отримати вміст іонів заліза нижче ГДК.

(рос.)

Обнаружены новые механизмы интенсификации процесса сорбции ионов тяжелых металлов модифицированным магнитоуправляемым биосорбентом на основе дрожжей *S.cerevisiae* для очистки сточных вод. Впервые разработана установка на основе магнитодинамического перемешивания (МГДП) биосорбента с магнитной жидкостью в схрещенных электрическом и магнитном полях, что позволило получить магнитоуправляемый биосорбент со стабильными магнитными свойствами и сорбционной емкостью не меньшей, чем у нативных дрожжей. Определена зависимость сорбционной емкости магнитоуправляемого биосорбента от способа его модификации, величины внешнего магнитного и электрического полей, рН-среды, соотношения количества

магнитной жидкости (магнитных наночастиц) и биосорбента, заряда биосорбента, пространственного распределения магнитных наночастиц в сорбенте, морфологических характеристик поверхности дрожжевых клеток *S. cerevisiae*. Впервые установлена корреляция между электрофоретической подвижностью дрожжей, величиной дзета-потенциала, фрактальной размерностью и сорбционными характеристиками биосорбента. Сорбционная емкость магнитоуправляемого биосорбента, изготовленного по разработанной методике, не уменьшается по сравнению с нативными дрожжами за счет того, что наночастицы магнетита проникают в периплазматическую область клеточной стенки дрожжей, что подтверждается измерениями магнитной восприимчивости магнитоуправляемого биосорбента и данными магнитной силовой микроскопии комплексов «дрожжевая клетка-магнитные наночастицы», величиной дзета-потенциала и электрофоретической подвижностью магнитоуправляемого биосорбента. Впервые для повышения эффективности проникновения магнитных наночастиц в периплазматическую область разработан новый метод изготовления магнитной жидкости с контролируемыми размерами и формой магнитных наночастиц. Также проведен поиск микроорганизмов в том числе дрожжей *S. cerevisiae* – потенциальных продуцентов биогенных магнитных наночастиц методами биоинформатики и исследовано влияние белков, задействованных в синтезе магнитных наночастиц, на свойства синтезированных с их участием магниточувствительных структур в клетках. Изучены современные разработки по использованию этих белков *in vitro* и рассмотрены перспективы использования этих микроорганизмов для биосорбции ионов тяжелых металлов и в биометаллургии. Впервые при очистке сточных вод г. Славутич (Киевская обл.) от ионов железа с использованием магнитоуправляемого биосорбента на основе дрожжей *S. cerevisiae* удалось получить содержание ионов железа ниже ПДК.

(.....переклад укр.варіанту).

(англ.)

New mechanisms for the intensification of the process of heavy metal ions sorption by magnetically modified biosorbent, based on yeast *S. cerevisiae* for wastewater treatment, were revealed. New equipment for magnetohydrodynamic mixing (MHDM) of biosorbent with magnetic fluid in the combined electric and magnetic fields were developed for the first time. This installation allowed obtaining the magnetically operated biosorbent with stable magnetic properties and sorption capacity of not less than native yeast. The dependence of magnetically operated biosorbent sorption capacity was revealed on the way of its modification, on the external magnetic and electric fields, on pH of the medium, on the ratio of magnetic fluid (magnetic nanoparticles) and biosorbent, on biosorbent charge, on the spatial distribution of magnetic nanoparticles in the sorbent, on the morphological characteristics of the surface of yeast *S. cerevisiae* cells. For the first time the correlation was established between the electrophoretic mobility of yeasts, zeta potential size, fractal dimension and sorption characteristics of biosorbent. Sorption capacity of magnetically operated biosorbent which is obtained by the developed method is not reduced compared to the native yeast due to the fact that the magnetite nanoparticles penetrate periplasmatic space of the yeast cell wall, which is confirmed by magnetic susceptibility measurements and data of magnet biosorbent magnetic force microscopy systems "yeast cell-magnetic nanoparticles" size and zeta potential of electrophoretic mobility of the magnetically operated biosorbent. For the first time the new method of obtaining of a magnetic fluid with controlled size and shape of magnetic nanoparticles was developed to improve the penetration of magnetic nanoparticles in periplasmatic space. Search of microorganisms including *S. cerevisiae* yeast was conducted for determining the potential producers of the biogenic magnetic nanoparticles by bioinformatics methods and the proteins involved in the synthesis of magnetic nanoparticles with the defined properties. Modern design of utilization of these proteins *in vitro* was studied and the prospects of the use of these microorganisms for biosorption of heavy metal ions and biometallurgy. For the first time it was possible to obtain the content of iron ions below the limit allows by the standart in wastewater treatment of Slavutych city (Kyivska region) from iron ions using magnetically-labeled biosorbent based on the yeast *S. cerevisiae*.

(бажано переклад укр.варіанту).

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- Патент на корисну модель 74683 Україна, МПК А61N 2/10 (2006.01). Феромагнітний імплантат / О.Ю. Горобець, І.А. Бондар. – № u201204121; заявл. 03.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21/2012.
- Патент на корисну модель 78508 Україна, МПК (2013.01) В82У 35/00. Спосіб визначення місця локалізації магнітної фази в околі біомембрани клітин / С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, І.В. Дем'яненко. – № u201209374; заявл. 31.07.12, опубл. 25.03.13, Бюл. № 6.
- Патент на винахід 10719 МПК (2006.01) В 03С 1/2. Спосіб сепарації магнітних часток на фракції і пристрій для його здійснення // С.В. Горобець, Н.О. Михайленко, О.В. Сливець. – Дата подання 05.09.2013.
- Патент на корисну модель 92784 Україна, МПК (2014.01) А61К 47/00, А61К 103/34 (2006.01) Спосіб одержання магніточутливого нанокompозитного матеріалу / Горбик П.П., Петрановська А.Л., Пилипчук Є.В., Горобець С.В., Абрамов М.В., Васильєва О.А. – № u201315273; заявл. 26.12.2013, опубл.10.09.2014, Бюл. № 17/2014.
- Патент на корисну модель 94195 України, МПК (2014.01) С01G 49/00 Спосіб отримання наночастинок магнетиту / Горобець С.В., Дем'яненко І.В., Сливець О.В. – № u201315602; заявл.31.12.2013, опубл. 10.11.2014, Бюл. №21/2014.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню та перевищують їх. Згідно літературних джерел тривалість процесу біосорбції іонів важких металів становить декілька годин при виготовленні магнітокерованого біосорбенту методом механічного перемішування нативної біомаси дріжджів з частинками магнетиту, також максимальна сорбційна ємність такого магнітокерованого біосорбенту знижується на десятки відсотків у порівнянні з сорбційною ємністю нативних дріжджів. А запропонований нами метод перемішування, тобто використання магнітогідродинамічного перемішування в зовнішніх електричному і магнітному полях в процесі штучного надання біосорбенту магнітних властивостей, зменшує тривалість цього процесу у рази, а сорбційна здатність при цьому не знижується. Розроблена установка є унікальною, оскільки отриманий з її застосуванням магнітокерований біосорбент за своєю якістю перевищує світові аналоги.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість магнітокерованого біосорбенту за рахунок:

- відсутності зниження сорбційної ємності магнітокерованого біосорбенту на декілька десятків відсотків в порівнянні з сорбційною ємністю нативних дріжджів;
- зменшення тривалості процесу біосорбції іонів важких металів у рази при застосуванні магнітогідродинамічного перемішування в зовнішніх електричному і магнітному полях в процесі штучного надання біосорбенту магнітних властивостей;
- виготовлення магнітокерованого біосорбенту зі стабільними магнітними властивостями;
- відсутності процесу десорбції іонів міді при застосуванні магнітогідродинамічного перемішування в зовнішніх електричному і магнітному полях в процесі штучного надання біосорбенту магнітних властивостей.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Технології виготовлення магнітокерованого біосорбенту іонів важких металів із стічних вод можуть застосовуватись на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості: машинобудуванні, приладобудуванні, металургії, електротехнічній промисловості, де широко розповсюджені технології гальванічного виробництва і гостро стоїть проблема очищення стічних вод від іонів важких металів.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені макети обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального обладнання. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, які повністю адаптовані до існуючого основного силового обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

В умовах ТОВ лабораторії «НВП ЕКОСПЕЦПРОМ» проведено дослідне випробування зразків високоградієнтних феромагнітних насадок (ВГФН) для магнітних сепараторів, що мали різну морфологію поверхні, на здатність до вилучення з розчину магнітокерованого біосорбенту важких металів – дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. У ході проведення випробувань було встановлено, що ВГФН з дендритною поверхнею більш ефективно вилучає біосорбент з розчину, ніж ВГФН з гладкою поверхнею. Через 30 хв. роботи один шар ВГФН з гладкою поверхнею вилучає 40-55% біосорбенту, два шари – 69-84%. Один шар ВГФН з дендритною поверхнею через 30 хв. роботи вилучає 72-87%, два шари – 83-98%. Таким чином, ВГФН з дендритною морфологією поверхні є перспективними для використання в магнітній сепарації.

Вперше при очистці стічних вод м. Славутич (Чернігівська обл.) від іонів заліза з використанням розробленого в даній роботі магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *S. cerevisiae* вдалося отримати вміст іонів заліза нижче ГДК.

Основні положення роботи впроваджені у підручнику П.П. Горбик, М.П. Турелик, С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, І.В. Дем'яненко. Біофункціоналізовані наноматеріали і нанокompозити. Наукові основи та напрями застосування, Електронний навчальний посібник, 2013р.; монографії Уварова І.В., **Горбик П.П., Горобець С.В.**, Івашенко О.А., Ульяновик Н.В. Наноматеріали медичного призначення. Київ, Наукова думка, 2014. -488 с.; методичних вказівок: Горобець С.В., Маринченко Л.В., Дем'яненко І.В., Карпенко Ю.В. Біосепарація [Електронний ресурс]: методичні вказівки до проведення лабораторних робіт для студентів напрямку підготовки 6.051401 «Біотехнологія» спеціальності 7.(8.)05140102 «Молекулярна біотехнологія» денної форми навчання / НТУУ «КПІ» текстові дані (1 файл: 3,95 Мбайт) - К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 99с. - Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/7486>; гриф НТУУ "КПІ"; № протокола Ради 6; дата отримання грифу 21.05.2014 та Горобець С.В., Горобець О.Ю., Двойненко О.К., Дем'яненко І.В. Біологічні та фізичні методи аналізу. Мікроскопія. [Електронний ресурс]: методичні вказівки для виконання лабораторних робіт для студентів напрямку підготовки 6.051401 «Біотехнологія» спеціальності 7.(8.)05140105 «Екологічна біотехнологія та біоенергетика» денної форми навчання / НТУУ «КПІ» Електронні текстові дані (1 файл: 4,13 Мбайт) - НТУУ «КПІ», 2014 - 44с. - Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/7488>; гриф НТУУ "КПІ"; № протокола Ради 6; дата отримання грифу 21.05.2014, а також лабораторних роботах з курсів «Основи біомедичного застосування високоградієнтної магнітної сепарації», «Біоінформатика», «Пакети прикладних програм для задач молекулярної біології».

За матеріалами роботи захищено три кандидатські дисертації за темами: «Мікро- та нанорозмірне структурування поверхні методом магнітоелектролізу і магнітокерованої корозії», «Орієнтаційні ефекти при розсіянні електронів в магнітостатичних полях смугової доменної структури феромагнітних плівок» та «Локалізована динаміка феромагнітної мікрочастинки в швидко осцилюючому магнітному полі»; підготовлено дві кандидатські дисертації за темою: «Розробка нових способів отримання насадок магнітних фільтрів технічного та біомедичного застосування» та «Розробка методів виявлення і локалізації біогенних магнітних наночастинок та передумов їх утворення»

10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ"КПІ", Факультет біотехнології і біотехніки, кафедра біоінформатики,
454-99-37, pitbm@ukr.net

	
<p>1 – електромагніт; 2 – ємність з суспензією магнітокерованого біосорбенту; 3 – регулятор швидкості рідини; 4 – лабораторний сепаратор з ВГФН; 5 – резервуар для збору відпрацьованої рідини. Макет установки для штучного надання біосорбенту магнітних властивостей з застосуванням МГДП в схрещених електричному і магнітному полях</p>	<p>а) без дендритів; б) з електроосадженими нікелевими дендритами на сітку; в) з електроосадженими нікелевими дендритами на сталевий циліндр; г) фрагмент дендриту, осадженого на сталеву сітку.</p> <p>Високоградієнтні феромагнітні насадки для високо-градієнтних магнітних сепараторів для вилучення відпрацьованого магнітокерованого біосорбенту</p>

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Статті:

1. Gorobets S.V., Gorobets O.Yu. Functions of biogenic magnetic nanoparticles in organisms // *Functional Materials*. – 2012. – 19, №1. – P. 18-26.
2. Karpenko Y.V., Gorobets S.V. Electrophoretic mobility of magnetically labeled yeast cells *S. cerevisiae* // *Functional Materials*. – 2012. – 19, №3. – P. 362-369.
3. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Двойненко О.К., Лебеда Г.Л. Влияние магнитостатических полей ферромагнитной подложки на электроосаждение никелевых дендритов // *Физика металлов и металловедение*. – 2012. – Т. 113, № 2. – С. 137-142.
4. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Двойненко О.К. Кореляція між розмірними характеристиками доменної структури та фігур травлення сталевого циліндру // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2012. – Т. 34, № 8. – С. 1027-1034.
5. Горобець О.Ю., Горобець Ю.І., Легенький Ю.А., Бондар І.А. Гетерогенний стан електроліту при травленні сталеві кулі в магнітному полі // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2012. – № 4. – С. 143-147.
6. Горобець О.Ю., Горобець Ю.І., Роспотнюк В.П. Електрорушійна сила при шавленні однорідно магнетованої крицевої кулі в електроліті // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2012. – Т. 34, № 7. – С. 895-906.
7. Горобець О.Ю., Потьомкін М.М. Локалізація сферичної феромагнітної мікрочастинки під дією швидко осцилюючого магнітного поля в потоці рідини // *Український фізичний журнал*. – 2012. – Т. 57, № 9. – С. 915-919.
8. Горобець О.Ю., Горобець С.В., Сівенок Д.В., Чиж Ю.М. Генетична регуляція та фенотипів прояв властивостей біогенних магнітних наночастинок у магнітотаксисних бактерій і людини // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2012 – № 3. – С. 18-23.

9. Турелик М.П., Горобець С.В., Македонська А.О., Горбик П.П. Біофункціоналізація нанокompозитів на основі магнетиту, модифікованого мезо-2,3-димеркаптосукциновою кислотою // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – №1(18). – С. 149-154.
10. Gorobets O.Yu., Gorobets Yu.I., Bondar I.A., Legenkiy Yu.A. Quasi-stationary heterogeneous states of electrolyte at electrodeposition and etching process in a gradient magnetic field of a magnetized ferromagnetic ball // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2013. – V. 330. – P. 76–80.
11. Gorobets S.V., Gorobets O.Yu., Demyanenko I.V., Nikolaenko R.N. Self-organization of magnetite nanoparticles in providing *Saccharomyces cerevisiae* yeasts with magnetic properties // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – July 2013. – V. 337-338. – P. 53-57.
12. Gorobets S.V., Gorobets O.Yu., Chyzh Yu.M., Sivenok D.V. Magnetic dipole interaction of endogenous magnetic nanoparticles with magnetoliposomes for targeted drug delivery // Biophysics. – 2013. – V. 58(3). – P. 379-384.
13. Горобець С.В., Михайленко Н.О., Ю.В. Карпенко Визначення оптимальних характеристик магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *S. cerevisiae* // Хімія, фізика та технологія поверхні. – 2013, – Т.4, № 2. – С. 219-225.
14. Горобець О.Ю., Горобець Ю.І., Роспотнюк В.П. Електрорушійна сила при травленні однорідно намагніченого сталевого циліндра в електроліті // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – №1 (87). – С. 135-141.
15. Горобець О.Ю., Горобець Ю.І., Роспотнюк В.П. Рух електроліту при травленні та осадженні металів у неоднорідному постійному магнітному полі // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – №4 (90). – С. 106-113.
16. Горобець С. В., Горобець О.Ю., Чиж Ю.М., Дем'яненко І.В. Генетична основа фундаментального механізму біосинтезу наномангнетиту у магнітотаксисних та анаеробних мікроорганізмів // Вісник Національного чернівецького університету. Біологічні системи. – 2013. – 5 (2). – С. 274-280.
17. Горобець С.В., Карпенко Ю.В., Ковальов О.В., Олішевський В.В. Застосування магнітомічених клітин *S. cerevisiae* як біосорбенту на очисних спорудах // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 3. – С. 42-47.
18. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Горобець Ю.І. Біомінералізація внутрішньоклітинних біогенних магнітних наночастинок та їх можливі функції // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 3. – С. 28-33.
19. Горобець С. В., Горобець О.Ю., Чиж Ю.М. Генетична регуляція та фенотиповий прояв властивостей біогенних магнітних наночастинок у грибів // Вісник Національного чернівецького університету. Біологічні системи. – 2013. – 5 (2). – С. 143-148.
20. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Дем'яненко І.В. Феритин і біомінералізація магнітних наночастинок в мікроорганізмах // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 3. – С. 34-41.
21. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Чиж Ю.Н., Сивенок Д.В. Магнитодипольное взаимодействие эндогенных магнитных наночастиц с магнитолипосомами при целевой доставке лекарств // Биофизика. – 2013. – Т. 58 (3). – С. 488-494.
22. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Дем'яненко І.В., Чиж Ю.М., Заїка А.М. Біомінералізація біогенних магнітних наночастинок у ціанобактерій / Збірник статей // Двадцять третя всеукраїнська науково-практична конференція "Інноваційний потенціал світової науки - ХХІ сторіччя", 10-15 грудня 2013 року.
23. Горобець С.В., Бутенко К.О., Сорокіна Л.В. Механізми взаємодії злоякісно трансформованих клітин з мікроорганізмами – засобами протипухлинної терапії / Збірник статей // Двадцять третя всеукраїнська науково-практична конференція "Інноваційний потенціал світової науки - ХХІ сторіччя", 10-15 грудня 2013 року.
24. Горобець С.В., Сорокіна Л.В., Овсієнко Т.В. Біоінформаційний аналіз білків біомінералізації магнітних наночастинок симбіотичних наночастинок / Сборник научных трудов // Материалы XVIII Международная научно-практическая интернет-конференция

«Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах СНГ», 29-30 декабря 2013г. – С. 10-12.

25. Gorobets O.Yu., Gorobets S.V., Gorobets Yu.I. Biogenic Magnetic Nanoparticles: Biomineralization in Prokaryotes and Eukaryotes, In Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, Third Edition. CRC Press: New York, 2014, P. 300-308.

26. Gorobets O.Yu., Gorobets S.V., Sorokina L.V. Biomineralization and synthesis of biogenic magnetic nanoparticles and magnetosensitive inclusions in microorganisms and fungi // Functional Materials. – 2014. – №4 – P. 15-21.

27. Gorobets S.V., Mikhailenko N.A. High-gradient ferromagnetic matrices for purification of wastewaters by the method of magnitoelectrolysis / Journal of Water Chemistry and Technology. – 2014 – V. 36, No. 4. – P. 153-159.

28. Gorobets Y.I., Gorobets O.Y. Statistical characteristics of trajectories of diamagnetic unicellular organisms in a magnetic field / Progress in biophysics and molecular biology. – 2014. – doi:10.1016/j.pbiomolbio.2014.06.001.

29. Gorobets O.Yu., Gorobets Yu.I., Rospotniuk V.P., Legenkiy Yu.A. Electric cell voltage at the etching and deposition of metals under an inhomogeneous constant magnetic field / Condensed Matter Physics [прийнято до друку].

30. Gorobets O.Yu., Gorobets Yu.I., Rospotniuk V.P. Movement of electrolyte at metal etching and deposition under non-uniform steady magnetic field / Magnetohydrodynamics. – 2014. – V. 50, No. 3. – P. 317-332.

31. Горобец С.В., Михайленко Н.О. Высокоградиентные ферромагнитные насадки для очистки сточных вод, полученных методом магнитоэлектролиза // Химия и технология воды – 2014. – № 3. – С. 153-159.

32. Коновалова В.В., Горобец С.В., Полоз Е.А., Бурбан А.Ф. Магнитно-активные ультрафильтрационные мембраны на основе целлюлозы // Доповіді Національної академії наук України. – 2014. – №3. – С. 119-124.

33. Горобец С.В., Сорокіна Л.В., Овсієнко Т.В. Агробактерії як потенційні продуценти магніточутливих наноструктур // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 3. – С. 26-32.

Тези доповідей на наукових конференціях та семінарах:

1. Горобец С.В., Горобец О.Ю. Функції біогенних магнітних наночастинок в організмі людини // Біотехнологія ХХІ століття: Тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2012 р.). – 2012. – С. 136-137.

2. Горобец С.В., Горобец О.Ю., Двойненко О.К. Отримання ВГФН корозією феромагнітного циліндру у розчині азотної кислоти у зовнішньому магнітному полі // Біотехнологія ХХІ століття: Тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2012 р.). – 2012. – С. 137-138.

3. Горобец С.В., Горобец О.Ю., Дем'яненко І.В., Сливець О.В. Пакет прикладних програм для аналізу МСМ зображень магнітних наночастинок в складі біоб'єктів // Біотехнологія ХХІ століття: Тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2012 р.). – 2012. – С. 139-140.

4. Горобец С.В., Карпенко Ю.В., Ковальов О.В., Сопіна А.В. Практичне застосування магнітомічених клітин *S. cerevisiae* в якості біосорбенту // Біотехнологія ХХІ століття: Тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2012 р.). – 2012. – С. 139-140.

5. Горобец С.В., Михайленко Н.О., Карпенко Ю.В., Осадча О.В. Визначення оптимальних характеристик магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *Sacharomyces cerevisiae* // Біотехнологія ХХІ століття: Тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2012 р.). – 2012. – С. 139-140.

6. Горобец С.В., Нгуєн Т.З., Карпенко Ю.В. Дослідження сорбції іонів заліза магнітоміченим біосорбентом // Біотехнологія ХХІ століття: Тези доповідей VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2012 р.). – 2012. – С. 147-148.

7. Горобець О.Ю., Потьомкін М.М. Математична модель обертального руху еліпсоїдальної магнітожорсткої феромагнітної частинки в осцилюючому магнітному полі одного напрямку // IX міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасна наука в мережі Інтернет» (ТОВ «ТК Меганом», 25-27 лютого 2013 р.). – 2013. – Ч. 1. – С. 61-64.

8. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Михайленко Н.О., Двойненко О.К. Вдосконалення конструкції фракціонатора // Біотехнологія XXI століття: Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 24 квітня 2013 р.). – 2013. – С. 111-112.

9. Горобець С.В., Двойненко О.К., Литвиненко Д.М. Високоградієнтна феромагнітна насадка для магнітних сепараторів // Біотехнологія XXI століття: Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 24 квітня 2013 р.). – 2013. – С. 124-125.

10. Горобець С.В., Михайленко Н.О. Порівняння ефективності роботи ВГФН магнітного сепаратора, отриманих різними способами // Біотехнологія XXI століття: Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 24 квітня 2013 р.). – 2013. – С. 126-127.

11. Горобець О.Ю., Бондар І.А. Квазірівноважні гетерогенні стани електроліту при корозії феромагнітних зразків у магнітному полі // Біотехнологія XXI століття: Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 24 квітня 2013 р.). – 2013. – С. 107-108.

12. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Дем'яненко І.В. Феритин і біомінералізація біогенних магнітних наночастинок в мікроорганізмах // Біотехнологія XXI століття: Тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 24 квітня 2013 р.). – 2013. – С. 108-109.

13. Gorobets S.V., Gorobets O.Yu., Gorobets Yu.I. Biogenic nanomagnetism: origin and some functions // International Conference "Functional Materials, ICFM'2013" (Crimea, Yalta 29.09-5.10.13). – 2013. – P. 434.

14. Gorobets S.V., Gorobets O.Yu., Demianenko I.V. Ferritin and biomineralization of biogenic magnetic nanoparticles in microorganisms // International Conference "Functional Materials, ICFM'2013" (Crimea, Yalta 29.09-5.10.13). – 2013. – P. 435.

15. Gorobets S.V., Gorobets O.Yu., Chyzh Yu.M., Bytenko K.O. Biomineralization magnetic nanoparticles by human's bacterial symbionts // International Conference "Functional Materials, ICFM'2013" (Crimea, Yalta 29.09-5.10.13). – 2013. – P. 457.

16. Gorobets S.V., Mykhailenko N.O. HGFM efficiency for the magnetically operated biosorbent separation // International Conference "Functional Materials, ICFM'2013" (Crimea, Yalta 29.09-5.10.13). – 2013. – P. 459.

17. Горобець С.В., Михайленко Н.О. Оптимальні параметри виготовлення ВГФН магнітних сепараторів для очищення стічних вод та дослідження їх ефективності // Міжнародна науково-технічна конференція Енерго-ефективність в галузях економіки України (Вінниця, 19-21 листопада 2013). – 2013.

18. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Дем'яненко І.В., Сливець О.В. Нанорозмірний магнетит для магнітомічення біосорбенту для очистки стічних вод // Міжнародна науково-практична конференція «Технологія очищення стічних вод і водопідготовка – технічні, біологічні та екологічні аспекти», присвячена пам'яті професора В. Свентославського (НТУУ «КПІ» 3-5 грудня 2013). – 2013.

19. Горобець С.В., Михайленко Н.О., Сливець О.В. Спосіб розділення магнітних частинок на фракції і пристрій для його здійснення // Міжнародна науково-практична конференція «Технологія очищення стічних вод і водопідготовка – технічні, біологічні та екологічні аспекти», присвячена пам'яті професора В. Свентославського (НТУУ «КПІ» 3-5 грудня 2013). – 2013.

20. Горобець С.В., Карпенко Ю.В. Взаємозв'язок електрофоретичної рухливості магнітокерованого біосорбенту і його сорбційної ємності // Міжнародна науково-практична конференція «Технологія очищення стічних вод і водопідготовка – технічні,

біологічні та екологічні аспекти», присвячена пам'яті професора В. Свентославського (НТУУ «КПІ» 3-5 грудня 2013). – 2013.

21. Горобець С.В., Михайленко Н.А. Высокоградиентные ферромагнитные насадки для очистки сточных вод // Міжнародна науково-практична конференція «Технологія очищення стічних вод і водопідготовка – технічні, біологічні та екологічні аспекти», присвячена пам'яті професора В. Свентославського (НТУУ «КПІ» 3-5 грудня 2013). – 2013.

22. Горобець С.В., Ковальов О.В., Сорокіна Л.В., Сопіна А.В. Отримання сухого магнітокерованого біосорбенту на основі хлібопекарських дріжджів для вилучення іонів важких металів з водних розчинів // Міжнародна науково-практична конференція «Технологія очищення стічних вод і водопідготовка – технічні, біологічні та екологічні аспекти», присвячена пам'яті професора В. Свентославського (НТУУ «КПІ» 3-5 грудня 2013). – 2013.

23. Gorobets O.Yu., Gorobets Yu.I., Rospotniuk V.P., Legenkiy Yu.A. Heterogeneous state of an electrolyte at etching and deposition of metals under the nonuniform magnetic field and the gravitational pressure // 6th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems. May 23-27, 2014, Kyiv, Ukraine. – P. 15.

24. Gorobets O.Yu., Gorobets Yu.I., Rospotniuk V.P., Legenkiy Yu.A. Corrosion of metals under an inhomogeneous magnetic field // International Scientific Conference Corrosion 2014, Poland.

25. Горобець С.В., Ковальов О.В., Сорокіна Л.В., Сопіна А.В. Отримання сухого магнітокерованого біосорбенту на основі хлібопекарських дріжджів для вилучення іонів важких металів з водних розчинів // Міжнародна науково-практична конференція «Технологія очищення стічних вод і водопідготовка – технічні, біологічні та екологічні аспекти (3-5 грудня 2013). – 2013. – С. 70-71.

26. Горобець О.Ю., Горобець С.В., Сорокіна Л.В. Синтез магнітних наноструктур клітинами мікроорганізмів і грибів // Тези доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Біотехнологія XXI століття» (25 квітня 2014 р.). – С. 84-85.

27. Горобець О.Ю., Дем'яненко І.В., Киба А.А. Дослідження характеристик магнітних наночастинок в залежності від величини зовнішнього магнітного поля // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія XXI століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 85-86.

28. Горобець С.В., Бойко І.П., Гуцол О.В., Сорокіна Л.В. Представники родини *Rhodocyclaceae* як потенційні продуценти магніточутливих наноструктур // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія XXI століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 89-90.

29. Горобець С.В., Дем'яненко І.В., Сливець О.В. Зворотне і незворотне накопичення заліза у представників *Proteobacteria* та *Actinobacteria* // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія XXI століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 92-93.

30. Горобець С.В., Ковальов О.В., Сорокіна Л.В., Сопіна А.В. Властивості сухого магнітокерованого сорбенту на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія XXI століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 93-94.

31. Горобець С.В., Сорокіна Л.В., Овсієнко Т.В. Агробактерії як потенційні продуценти магніточутливих наноструктур // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія XXI століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 95-96.

32. Горобець С.В., Сушко А.Р., Скриник М.М., Сорокіна Л.В. Можливість синтезу магніточутливих наноструктур клітинами мікроорганізмів родини *Bradyrhizobiaceae* // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня

народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія ХХІ століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 96-97.

33. Пилипчук Є.В., Петровновська А.Л., Підгорна А.В., Горобець С.В., Горбик П.П. Формування біоміметричного гідроксиапатиту на титанвмісних поверхнях в модельних фізіологічних рідинах // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія ХХІ століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 108.

34. Зубчук Ю.О., Пилипчук Є.В., Петрановська А.Л., Туранська С.П., Підгорна А.В., Горобець С.В., Горбик П.П. Нанокompозити магнетит / гідроксиапатит / амінобісфосфонат / диетилентриамінпентооцтова кислота / гадоліній для нейронозахоплюючої терапії. // VIII Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 200-й річниці з дня народження Т.Г. Шевченка «Біотехнологія ХХІ століття». НТУУ «КПІ». (Київ, 25 квітня 2014 р.). – 2014. – С. 109.